

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
13 décembre 2001 (13.12.2001)

PCT

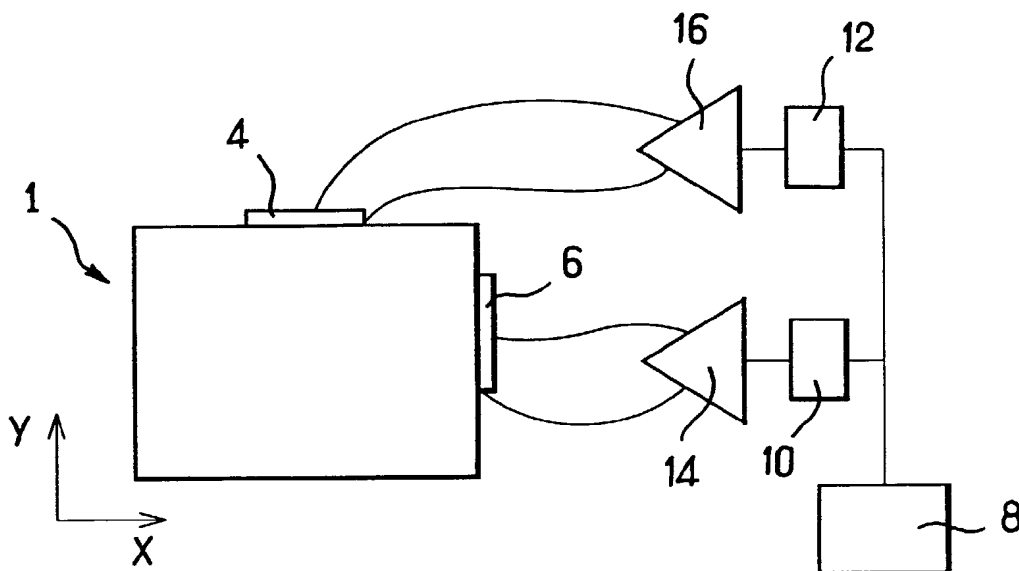
(10) Numéro de publication internationale  
**WO 01/95614 A1**

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
**H04N 5/225**, 5/232, 3/15
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR01/01741
- (22) Date de dépôt international : 6 juin 2001 (06.06.2001)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
00/07201 6 juin 2000 (06.06.2000) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **CEN-  
TRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES** [FR/FR]; 2,  
Place Maurice Quentin, F-75001 Paris (FR).
- (72) Inventeur; et  
(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **ANTIKIDIS,  
Jean-Pierre** [FR/FR]; 30, avenue des Sources, F-31320  
Castanet-Tolosan (FR).
- (74) Mandataires : **MARTIN, Jean-Jacques** etc.; Cabinet  
Regimbeau, 20, rue de Chazelles, F-75847 Paris Cedex 17  
(FR).
- (81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,  
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,  
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,  
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,  
MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL,  
TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: IMAGE PICK-UP DEVICE ON BOARD A SPACE CRAFT, SPACE CRAFT AND IMAGE SENSING METHOD  
COMPRISING SAME

(54) Titre : DISPOSITIF DE PRISE DE VUE EMBARQUE SUR UN ENGIN SPATIAL, ENGIN SPATIAL ET PROCEDE DE  
PRISE DE VUE LE COMPRENANT



(57) Abstract: The invention concerns an image pick-up device designed to be integrated on board a space craft, comprising at least an observation sensor and means (4, 5, 6, 7, 8, 9) for controlled displacement of said device relative to the space craft along at least one degree of freedom. The invention is characterised in that said displacement means comprise at least a transducer made of an active material capable of being dynamically deformed under the effect of a variable electric field and/or magnetic field, and controlling means capable of controlling the transducer so as to move the observation sensor in accordance with a variable control principle adapted to compensate the movements induced by the flight dynamics of the satellite.

[Suite sur la page suivante]



WO 01/95614 A1



(84) **États désignés (régional)** : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

---

**(57) Abrégé :** La présente invention concerne un dispositif de prise de vue destiné à être embarqué sur un engin spatial, comportant au moins un capteur d'observation et des moyens (4, 5, 6, 7, 8, 9) pour le déplacement contrôlé dudit dispositif par rapport à l'engin spatial selon au moins un degré de liberté, caractérisé en ce que lesdits moyens de déplacement comportent au moins un transducteur en un matériau actif apte à se déformer de façon dynamique sous l'effet d'un champ électrique et/ou d'un champ magnétique variable, ainsi que des moyens de pilotage aptes à commander le transducteur afin de déplacer le capteur d'observation suivant une loi de contrôle variable adaptée à la compensation des mouvements induits par la dynamique de vol de satellite.

DISPOSITIF DE PRISE DE VUE EMBARQUE SUR UN ENGIN SPATIAL,  
ENGIN SPATIAL ET PROCEDE DE PRISE DE VUE LE COMPRENANT

L'invention concerne le domaine de l'observation et de la prise de  
vue à partir d'un engin spatial. Plus particulièrement selon un aspect,  
l'invention est un dispositif de prise de vue embarqué sur un tel engin.  
Par exemple, ce dispositif de prise de vue peut comporter une matrice  
de capteur CCD (CCD est l'acronyme de l'expression anglo-saxonne  
Coupled Charge Device). De tels capteurs CCD seront également  
appelés ci-dessous "éléments photosensibles à transfert de charges".

Plus particulièrement encore l'invention concerne de tels  
dispositifs de prise de vue comportant des moyens pour compenser le  
bougé dû aux mouvements de l'engin spatial par rapport à l'objet que  
l'on veut observer et/ou dont on veut conserver une image.

A titre d'exemple, l'invention peut être utilisée pour réaliser des  
prises de vue du sol à partir d'un satellite. Dans ce cas, pour obtenir  
une bonne résolution, il faut que l'énergie atteignant chaque capteur,  
durant le temps pendant lequel le satellite parcourt une distance  
correspondant au sol à la résolution visée, soit suffisante.

Les matrices de capteurs connues et disponibles sur le marché  
ayant des performances radiométriques nécessitent un temps de pause  
de l'ordre de 500  $\mu$ s, pour un rapport signal sur bruit de 40 dB. Or pour  
un satellite se déplaçant à 8 km/s et une résolution  $R_s$  égale à 1 m, le  
temps de pause ne peut excéder  $\frac{1}{8 \cdot 10^3}$  s, soit 120  $\mu$ s. Ce temps de  
pause doit même être inférieur si l'on souhaite garder un piqué d'image  
correct.

La quantité de lumière recueillie par chaque capteur pendant un  
tel temps de pause est donc insuffisante.

Pour obtenir les quantités de lumière nécessaires, on a utilisé des  
télescopes ayant des ouvertures 3 à 4 fois supérieures à ce qui est

imposé par les conditions de diffraction, de manière à recueillir 10 fois plus d'énergie. Mais de tels télescopes sont lourds et volumineux (leur poids croissant comme le carré de l'ouverture).

Une autre manière d'obtenir la quantité de lumière suffisante est  
5 de prolonger le temps de pose et de compenser le bougé durant ce temps de pause, en synchronisant le déplacement du dispositif de prise de vue par rapport au satellite, en fonction de la loi de mouvement de la trajectoire du satellite. Cette compensation du bougé est parfois réalisée en modifiant les trajets optiques, par un déplacement d'un miroir, d'une  
10 lentille, etc.

Le document US 5 460 341 décrit un dispositif de prise de vue destiné à être embarqué sur un satellite ou un autre engin spatial, comportant un système de compensation de bougé, pour corriger les déplacements le long d'un axe optique, les déplacements de focalisation  
15 de pièces optiques, la position du dispositif lui-même par rapport à l'engin sur lequel il est fixé, etc. Ce dispositif de compensation comprend des actionneurs linéaires pour ajuster la position du dispositif de prise de vue par rapport à l'engin spatial, par un déplacement contrôlé, selon plusieurs degrés de liberté. L'actionneur  
20 comporte un moteur à bobine mobile ou à aimant mobile. Ces actionneurs linéaires sont de type sans contact, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de contact de friction entre les pièces mobiles les unes par rapport aux autres. Or de tels dispositifs deviennent inutilisables lorsque l'on cherche à obtenir une très haute résolution du mouvement de  
25 compensation. En effet dans ce cas, des déplacements extrêmement précis et des temps de réponse très faibles, sont requis, mais ne peuvent être obtenus avec ces dispositifs de prise de vue de l'art antérieur.

Un but de l'invention est de fournir des dispositifs de prise de vue  
30 avec un mécanisme de déplacement plus précis et ayant un temps de réponse très faible.

Ce but est atteint, selon l'invention, grâce à un Dispositif de prise de vue destiné à être embarqué sur un engin spatial, comportant au moins un capteur d'observation et des moyens (4, 5, 6, 7, 8, 9) pour le déplacement contrôlé dudit dispositif par rapport à l'engin spatial selon  
5 au moins un degré de liberté, caractérisé en ce que lesdits moyens de déplacement comportent au moins un transducteur en un matériau actif apte à se déformer de façon dynamique sous l'effet d'un champ électrique et/ou d'un champ magnétique variable, ainsi que des moyens de pilotage aptes à commander le transducteur afin de déplacer le capteur  
10 d'observation suivant une loi de contrôle variable adaptée à la compensation des mouvements induits par la dynamique de vol du satellite.

Ce type de matériau permet d'obtenir un déplacement de l'ensemble du dispositif de prise de vue par rapport à l'engin spatial  
15 avec un positionnement rigide, une grande précision, quasiment sans inertie temporelle et sans utiliser de structures mécaniques proprement dites.

L'utilisation d'un matériau actif apte à se déformer sous l'effet d'un champ électrique et/ou d'un champ magnétique, typiquement un  
20 matériau piézo-électrique ou un matériau magnétostrictif, ne peut être envisagée que pour des déplacements très faibles. Or les résolutions optiques accessibles avec les dispositifs de l'art antérieur étaient telles qu'elles nécessitaient des déplacements de compensation ayant une amplitude trop élevée pour que l'utilisation de tels matériaux puisse  
25 être envisagée.

Le dispositif selon l'invention peut présenter les caractéristiques avantageuses, mais facultatives, suivantes, prises séparément ou en combinaison :

- les moyens de déplacement comprennent plusieurs transducteurs,  
30 chaque transducteur produisant un déplacement du capteur par

rapport à l'engin spatial, orthogonal par rapport au déplacement produit par chaque autre transducteur;

- des moyens d'asservissement de chaque transducteur, sont en outre prévus, qui sont aptes à compenser les mouvements de perturbations affectant la position du capteur par rapport à un objet observé ;
- le matériau actif est directement monté sur une matrice de capteurs d'observation pour former une structure intégrée ;
- chaque capteur d'observation est un élément photosensible à transfert de charges.

10        Selon un autre aspect, l'invention concerne un dispositif étant destiné à déplacer de manière contrôlée, selon au moins un degré de liberté, un dispositif de prise de vue par rapport à l'engin spatial. Il comporte en outre des moyens de déplacement comprenant un transducteur en un matériau actif apte à se déformer sous l'effet d'un  
15 champ électrique et/ou d'un champ magnétique. Un tel dispositif permet notamment de compenser le bougé lié aux mouvements d'un engin spatial par rapport à un objet distant de cet engin, et en particulier ceux correspondant à des déplacements sur une trajectoire.

Un tel dispositif, couplé à un système de commande générateur  
20 d'une loi de déplacement volontaire et dépendant du comportement de la plate forme sur laquelle est monté le dispositif de prise de vue, ainsi que du type de prise de vue souhaité réalise, pour un coût et un poids négligeable, une fonction permettant d'obtenir le maximum de la résolution et de la largeur de balayage d'un système optique véhiculé  
25 par un engin spatial, sans engendrer de pertes énergétiques.

Selon encore un autre aspect, l'invention est un engin spatial comportant un dispositif de prise de vue tel que mentionné ci-dessus.

Selon encore un autre aspect, l'invention est un p Procédé de prise de vue dans l'espace comprenant une opération consistant à  
30 déplacer un dispositif de prise de vue par rapport à un engin spatial, caractérisé par le fait que cette opération est réalisée par la déformation,

sous l'effet d'un champ électrique et/ou d'un champ magnétique, d'un matériau actif intercalé entre le dispositif de prise de vue et l'engin spatial et en ce qu'on pilote ledit transducteur afin déplacer le capteur d'observation suivant une loi de contrôle variable adaptée à la compensation des mouvements induits par la dynamique de vol du satellite.

Le procédé selon l'invention présente avantageusement, mais de manière facultative, les caractéristiques suivantes prises indépendamment ou séparément :

- 10 - il comporte une opération consistant à compenser le bougé lié aux mouvements d'un engin spatial par rapport à un objet à observer distant de cet engin, et en particulier ceux correspondant à des déplacements de cet engin sur une trajectoire ;
- il comporte une opération consistant à incliner, grâce au matériau actif, une matrice de capteurs d'observation s'étendant principalement dans un plan, par rapport à la tangente à la trajectoire de l'engin spatial ;
- 15 - il comporte une opération consistant à prendre une première vue de l'objet à observer, en un premier lieu de la trajectoire, puis une deuxième vue de cet objet, en aval de ce premier lieu, pour former une image stéréoscopique de cet objet ;
- 20 - il comporte une opération consistant à déplacer, entre deux prises de vues de l'objet à observer, le dispositif de prise de vue, latéralement par rapport à la trajectoire de l'engin, pour former une image stéréoscopique de cet objet ;
- 25 - il comporte une opération consistant à réaliser une rotation du dispositif de prise de vue, autour d'un axe perpendiculaire à la trajectoire, pour former une image stéréoscopique de l'objet à observer ; et
- 30 - il comporte une opération consistant à réaliser plusieurs prises de vue, correspondant à des positions du dispositif de prise de vue,

juxtaposées les unes à côté des autres, en déplaçant le dispositif de prise de vue entre deux prises de vue, latéralement par rapport à la trajectoire de l'engin, pour former, après traitement de l'ensemble des prises de vue, une image correspondant à un champ plus large de  
5 l'objet à observer, que celle qui serait obtenue avec seulement une de ces prises de vues.

D'autres aspects, buts et avantages de l'invention seront mieux compris à l'aide de la description détaillée qui suit. L'invention sera également mieux comprise à l'aide des références aux dessins sur  
10 lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement en perspective une matrice d'éléments photosensibles à transfert de charges, entrant dans la constitution d'un dispositif de prise de vue conforme à la présente invention ;
- 15 - la figure 2 est un schéma de principe, en perspective, d'une prise de vue au moyen d'une matrice du type de celle représentée sur la figure 1 ;
- la figure 3 représente schématiquement le bougé susceptible de se produire au cours d'une prise de vue telle que celle illustrée sur la  
20 figure 2 ;
- la figure 4 représente un dispositif de prise de vue conforme à la présente invention ;
- la figure 5 représente une variante du dispositif de prise de vue conforme à la présente invention, représenté sur la figure 4 ;
- 25 - la figure 6 représente encore une autre variante du dispositif de prise de vue conforme à la présente invention, représenté sur la figure 4 ou sur la figure 5 ;
- la figure 7 représente schématiquement un exemple de mise en œuvre du procédé conforme à la présente invention ;
- 30 - la figure 8 représente une variante de l'exemple de mise en œuvre du procédé conforme à la présente invention, représenté sur la figure 7 ;



- la figure 9 représente une autre variante des exemples de mise en œuvre du procédé conforme à la présente invention, représentés sur la figure 7 ou sur la figure 8 ;
- la figure 10 représente encore une autre variante des exemples de mise en œuvre du procédé conforme à la présente invention, représentés sur la figure 7, la figure 8 et la figure 9 ; et
- la figure 11 représente schématiquement encore une autre variante des exemples de mise en œuvre du procédé conforme à la présente invention, représentés sur la figure 7, la figure 8, la figure 9 et la figure 10.

Un exemple de mise en œuvre de l'invention est décrit ci-dessous dans le cadre de la prise de vue à partir d'un satellite.

Selon cet exemple, la prise de vue est réalisée grâce à un dispositif de prise de vue comportant une matrice bi-dimensionnelle d'éléments photosensibles à transfert de charges. Pour atteindre de hautes résolutions, ces éléments photosensibles à transfert de charge sont par exemple des photodiodes ayant une taille de l'ordre de 6  $\mu$ .

La figure 1 représente schématiquement une matrice 1 de capteurs 2 constituée de telles photodiodes. Par exemple, une matrice 1 peut comporter 4000 lignes de capteurs 2 sur 4000 colonnes de capteurs 2. Ces photodiodes sont alors mises en réseau avec un dispositif optique conjuguant la surface élémentaire de résolution au sol avec la surface du détecteur, c'est à dire celle correspondant à la taille d'une photodiode.

Ainsi, par exemple, pour une résolution au sol  $R_s$  de l'ordre du mètre, un capteur ayant une taille  $T$  de l'ordre de 6 $\mu$ , et une altitude  $A$  de l'ordre de 600 km, il faut utiliser une optique dont la focale est égale à :

$$F = \frac{A}{R_s} T = 3,6 \text{ m}$$

La focale étant ainsi imposée, il convient de faire en sorte que la tache de diffraction liée à l'ouverture de l'optique soit de l'ordre de grandeur de la taille du détecteur. Ce qui se traduit, pour une longueur d'onde  $\lambda$ , par la relation :

5 
$$\frac{D}{F} \text{ de l'ordre de } \frac{\lambda}{T}$$

où D correspond au diamètre de la pupille d'entrée.

Ainsi, avec un capteur de taille T comprise entre 5 et 10  $\mu$ , une altitude A de 600 km et une longueur d'onde de l'ordre de 0,6  $\mu$ , la pupille a un diamètre de l'ordre de 30 cm.

10 Nous considérerons ci-dessous que le satellite se déplace selon une trajectoire V, la tangente à cette trajectoire V définissant une direction X. On définit la direction Y, perpendiculairement à la direction X, dans un plan perpendiculaire à l'axe optique du dispositif de prise de vue. On définit également une direction Z perpendiculaire aux  
15 directions X et Y.

Comme représenté sur la figure 3, lorsque le satellite se déplace pendant le temps de pause, si la matrice 1 suit le satellite, l'image 3 d'un objet au sol sur la matrice 1 se déplace (à titre illustratif sur la figure 3, de la position en traits pleins, à la position en traits pointillés).  
20 Ceci est à l'origine du bougé. Pour que l'image ne soit pas affectée par ce bougé anéantissant la résolution visée, chaque capteur 2 doit se déplacer en sens inverse du déplacement du satellite sur sa trajectoire, à la même vitesse, et pendant toute la durée du temps de pause. Ainsi, un satellite ayant une vitesse de déplacement par rapport au sol de  
25 8000 km/s, pendant un temps de pause de 500  $\mu$ s (temps correspondant à un rapport signal sur bruit de 40 dB), se déplace de 4 m par rapport au sol, ce qui correspond à 4 pixels, chaque pixel correspondant à un capteur 2. Pour conserver une résolution de l'ordre du mètre, il conviendra donc de déplacer le dispositif de prise de vue de  
30 4 pixels dans la direction opposée à celle de déplacement du satellite.

En fait, pour avoir un meilleur rapport signal sur bruit, le temps de pause doit être de 1 ms. Pour compenser le bougé pendant ce temps de pause, il suffit de commander un déplacement de 8 pixels. Le transducteur doit donc assurer un déplacement de 48  $\mu\text{m}$  en 1 ms. Un  
5 tel déplacement est parfaitement compatible avec les caractéristiques tension-déplacement d'un transducteur piézo-électrique ou magnétostrictif.

On peut même envisager des compensations du bougé sur 2 ms, donc sur 16 pixels, ce qui, avec une optique de 30 cm de diamètre,  
10 permettrait des rapports signal sur bruit supérieurs à 60 dB (ce qui était inconcevable à ce jour avec des optiques aussi réduites).

La rigidité d'un matériau piézo-électrique, alliée à la finesse du contrôle de déplacement possible avec ce type de matériau, font de celui-ci un candidat idéal pour remplir cette fonction de compensation  
15 du bougé.

Ces transducteurs sont par exemple des capsules de niobiate de titinium commercialisées par SPK Electronics Co., LTD, avec une constante piézo électrique D égale ou supérieure à  $1000 \cdot 10^{-12} \text{ m/volt}$ .

De tels transducteurs sont non seulement intéressants pour  
20 compenser le bougé dû au déplacement du satellite sur sa trajectoire, au cours la prise de vue, mais également pour compenser toutes les perturbations résiduelles durant cette prise de vue. Dans ce dernier cas, le transducteur est avantageusement inclus dans une boucle de contrôle. Jusqu'à présent les dispositifs de stabilisation utilisés pour  
25 compenser les perturbations résiduelles étaient plus coûteux et plus lourds que la solution selon l'invention.

Comme représentée sur la figure 4, la matrice 1 comporte deux éléments transducteurs 4 et 6, contrôlés indépendamment l'un de l'autre. Chacun de ces transducteurs 4 ou 6 est disposé sur un côté du  
30 parallélépipède rectangle constitué par la matrice 1. Pour simplifier les explications ci-dessous, les côtés de ce parallélépipède sont parallèles

aux directions X et Y. Bien entendu, d'autres orientations sont possibles. Les deux côtés munis chacun d'un transducteur 4 ou 6 sont adjacents.

Avantageusement, les transducteurs et la matrice forment une  
5 structure intégrée.

L'utilisation de deux transducteurs 4 et 6 opérant par des déplacements orthogonaux indépendants, permet de réaliser des mouvements selon une loi de déplacement quelconque. Ceci permet de gérer, par logiciel, des lois de commande de déplacements latéraux par rapport à la trajectoire V, des lois de déplacements d'avant en arrière,  
10 ou réciproquement, le long de la trajectoire V ou bien encore des situations complexes comme celles liées à la rotation terrestre.

Un microprocesseur 8 de pilotage calcule les corrections à apporter en temps réel. Les déformations des transducteurs 4, 6  
15 peuvent être complexes étant donnée l'hystérèse mécanique affectant les transducteurs piézo-électriques, par exemple. Mais ces déformations étant modélisables, elles peuvent également être prises en compte dans les calculs du microprocesseur 8. Les résultats de ces calculs sont transmis à des convertisseurs analogique-numérique 10 et 12. Le signal  
20 analogique en sortie de chaque convertisseur analogique-numérique 10, 12 est transmis à un amplificateur 14, 16 qui alimente les transducteurs piézo-électriques 4, 6.

La commande des transducteurs 4, 6 se fait à l'aide de niveaux de tension relativement faibles car les déplacements générés par les  
25 transducteurs 4 et 6 sont de faible amplitude. Par exemple, avec des capsules du type de celles citées ci-dessus, avec un constante diélectrique D égale environ à  $1000 \cdot 10^{-12}$  m/volt, une épaisseur de 2 mm, l'application d'une tension de 18 kV permet un déplacement de 90 micromètres.

30 Un tel déplacement correspond à environ 10 pixels.

On utilise aussi avantageusement un empilement de couche de matériau piézo électrique, avec des électrodes en parallèle. On diminue ainsi la tension appliquée pour obtenir le déplacement voulu.

Par exemple avec neuf couches empilées, on peut réduire la tension appliquée à chaque couche à 2 kV. Cette tension est alors parfaitement compatible avec des dispositifs haute-tension courants. Avantageusement, on peut aussi utiliser un boîtier étanche rempli d'un gaz inerte, pour éviter les arcs électriques.

Comme représenté sur la figure 5, selon une variante avantageuse du dispositif selon l'invention représenté sur la figure 4, la matrice 1 est munie d'un transducteur 4, 5, 6 ou 7 sur chacun de ses bords parallèles aux directions X et Y. Selon cette variante, le déplacement de la matrice se fait en mode « tirer-pousser » (« push-pull »). Les transducteurs piézo-électriques 4, 5 et 6, 7 situés sur les côtés opposés de la matrice 1, perpendiculaires à l'une des directions X ou Y, sont commandés par des tensions opposées.

Comme représenté sur la figure 6, selon encore une autre variante avantageuse des dispositifs selon l'invention représentés sur les figures 4 et 5, la matrice 1 est munie de transducteurs 4, 5, 6, et 7, sur chacun de ses bords parallèles aux directions X et Y, pour commander des déplacements selon ces mêmes directions. Mais elle est en outre munie de transducteurs 8 et 9 agencés de manière à opérer un déplacement selon la direction Z. Si plusieurs transducteurs 8 et 9 indépendants, agencés pour opérer un déplacement selon la direction Z, sont fixés en différents points de la matrice 1, il est possible de générer un basculement de la matrice 1 par rapport au plan comprenant des axes parallèles aux directions X et Y. Autrement dit, ce basculement est une opération consistant à incliner, la matrice 1, par rapport à la tangente à la trajectoire V du satellite.

Comme représenté sur la figure 7, ce basculement offre la possibilité de prendre une première vue de l'objet à observer en un

premier lieu de la trajectoire du satellite (en traits pleins sur la figure 7), puis une deuxième vue de cet objet, en aval de ce premier lieu (en traits pointillés sur la figure 7), pour former une image stéréoscopique de cet objet.

5           Comme représenté sur la figure 8, ce basculement permet également de réaliser une prise de vue d'une image plus petite mais avec plus de capteurs 2. Cette opération permet d'augmenter davantage la résolution de la prise de vue. La distorsion de la prise de vue ainsi  
10           réalisée, due à l'inclinaison de la matrice 1 par rapport à l'axe optique du dispositif de prise de vue, peut aisément être corrigée, par un traitement de l'image enregistrée. Ce traitement peut éventuellement avoir lieu au sol. Ce basculement de la matrice 1, par rapport à la tangente à la trajectoire du satellite, peut avantageusement être combiné à un déplacement fin de compensation du bougé.

15           Comme représenté sur la figure 9, le déplacement selon les directions parallèles aux axes X et Y, permet de déplacer, entre deux prises de vues de l'objet à observer, le dispositif de prise de vue, latéralement par rapport la trajectoire de l'engin, pour former une image stéréoscopique de cet objet.

20           Comme représenté sur la figure 10, le déplacement selon les directions parallèles aux axes X et Y, permet de déplacer, entre deux prises de vues de l'objet à observer, le dispositif de prise de vue, selon une rotation, autour d'un axe perpendiculaire à la trajectoire, pour former une image stéréoscopique de l'objet à observer.

25           Comme représenté sur la figure 11, il est également possible, grâce au procédé selon l'invention, de réaliser plusieurs prises de vue, correspondant à des positions du dispositif de prise de vue, juxtaposées les unes à côté des autres. Le dispositif de prise de vue entre deux  
30           prises de vue, est alors déplacé latéralement par rapport à la trajectoire du satellite, pour former, après traitement de l'ensemble des prises de vue, une image correspondant à un champ plus large de l'objet à

observer, que celle qui serait obtenue avec seulement une de ces prises de vues. On peut ainsi réaliser un procédé de prise de vue inconnu jusqu'alors, autorisant des résolutions métriques avec des largeurs de champs multiples de la dimension T d'un capteur 2.

5 Par exemple, une matrice de 4000 capteurs par 4000 capteurs, permet de couvrir une surface au sol de 4 km par 4 km. Pour couvrir une surface correspondant à un carré de 40 km de côté, il faudrait une matrice de 40000 capteurs par 40000 capteurs. Une autre solution consiste à déplacer une matrice 1 comprenant un plus petit nombre de  
10 capteurs 2.

Ainsi, si le satellite avance de 4 km par rapport au sol (4000 pixels) en 4,8 ms, on peut compenser le bougé tout en faisant 9 prises de vue avec des temps de pose de 500  $\mu$ s. Il est alors possible d'obtenir une largeur de trace, c'est à dire la distance balayée par la matrice  
15 latéralement par rapport à la trajectoire, égale à 36 km, avec une matrice 1 de 4000 capteurs 2.

L'invention a été décrite ci-dessus à l'aide d'un exemple de dispositif de prise de vue dans lequel, la prise de vue est réalisée grâce à une matrice d'éléments photosensibles à transfert de charges. Mais  
20 d'autres capteurs que des d'éléments photosensibles à transfert de charges peuvent être utilisés pour mettre en œuvre l'invention. En effet, il est aussi possible d'utiliser des capteurs à constante de temps plus élevées, tels que des capteurs dans le domaine de l'infrarouge moyen ou lointain ou des thermodétecteurs de type bolomètres. De tels capteurs  
25 étaient jusqu'à présent incompatibles, même pour des résolutions modestes, avec la fréquence d'échantillonnage imposée par le défilement des satellites. Grâce à l'invention, on peut obtenir certaines résolutions jusqu'alors inaccessibles. Ainsi, on pourra par exemple détecter des feux de forêts avec une précision de 5 à 10 m, dans le thermique  
30 lointain.

Avantageusement, on peut également, grâce à l'invention, utiliser des capteurs peu coûteux et de qualité standard, mais en obtenant tout de même une qualité radiométrique de haut niveau, avec par exemple un rapport signal sur bruit supérieur à 40 dB.

5 L'invention a été décrite ci-dessus à l'aide d'un exemple de dispositif de prise de vue monté sur un satellite, il est évident que l'invention peut être mise en œuvre dans d'autres applications, lorsque l'on veut réaliser une image d'un objet distant du dispositif de prise de vue et que les déplacements de ce dispositif sont de relativement faible  
10 amplitude. En particulier, on pourra utiliser d'autres types d'engins spatiaux que les satellites.



## **REVENDEICATIONS**

1. Dispositif de prise de vue destiné a être embarqué sur un engin spatial, comportant au moins un capteur d'observation et des moyens  
5 (4, 5, 6, 7, 8, 9) pour le déplacement contrôlé dudit dispositif par rapport a l'engin spatial selon au moins un degré de liberté, caractérisé en ce que lesdits moyens de déplacement comportent au moins un transducteur en un matériau actif apte a se déformer de façon  
10 magnétique variable, ainsi que des moyens de pilotage aptes a commander le transducteur afin déplacer le capteur d'observation suivant une loi de contrôle variable adaptée à la compensation des mouvements induits par la dynamique de vol du satellite.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le  
15 matériau actif est un matériau piézo-électrique.

3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le matériau actif est un matériau magnétostrictif.

4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les moyens (4, 5, 6, 7, 8, 9) de déplacement  
20 comprennent plusieurs transducteurs, chaque transducteur produisant un déplacement du capteur (2) par rapport à l'engin spatial, orthogonal par rapport au déplacement produit par chaque autre transducteur.

5. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'il comprend en outre des moyens  
25 d'asservissement de chaque transducteur, aptes à compenser les mouvements de perturbation affectant la position de chaque capteur (2) par rapport à un objet à observer.

6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le matériau actif est directement monté sur  
30 une matrice (1) de capteurs (2) d'observation pour former une structure intégrée.

7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que chaque capteur (2) d'observation est un élément photosensible à transfert de charges.

8. Dispositif destiné à déplacer de manière contrôlée, selon au moins un degré de liberté, un dispositif de prise de vue par rapport à l'engin spatial, caractérisé par le fait qu'il comporte des moyens (4, 5, 6, 7, 8, 9) de déplacement comprenant un transducteur en un matériau actif apte à se déformer sous l'effet d'un champ électrique et/ou d'un champ magnétique.

9. Engin spatial comportant un dispositif de prise de vue, avec au moins un capteur (2) d'observation et des moyens (4, 5, 6, 7, 8, 9) de déplacement contrôlé du dispositif de prise de vue par rapport à l'engin spatial selon au moins un degré de liberté, caractérisé par le fait que lesdits moyens (4, 5, 6, 7, 8, 9) de déplacement comprennent un transducteur en un matériau actif apte à se déformer sous l'effet d'un champ électrique et/ou d'un champ magnétique, ainsi que des moyens de pilotage aptes à commander le transducteur afin de déplacer le capteur d'observation suivant une loi de contrôle variable adaptée à la compensation des mouvements induits par la dynamique de vol du satellite.

10. Procédé de prise de vue dans l'espace comprenant une opération consistant à déplacer un dispositif de prise de vue par rapport à un engin spatial, caractérisé par le fait que cette opération est réalisée par la déformation, sous l'effet d'un champ électrique et/ou d'un champ magnétique, d'un matériau actif intercalé entre le dispositif de prise de vue et l'engin spatial et en ce qu'on pilote ledit transducteur afin de déplacer le capteur d'observation suivant une loi de contrôle variable adaptée à la compensation des mouvements induits par la dynamique de vol du satellite.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé par le fait qu'il comporte une opération consistant à compenser le bougé lié aux

mouvements d'un engin spatial par rapport à un objet à observer distant de cet engin, et en particulier ceux correspondant à des déplacements de cet engin sur une trajectoire (V).

12. Procédé selon l'une des revendications 10 et 11, caractérisé  
5 par le fait qu'il comporte une opération consistant à incliner, grâce au matériau actif, une matrice (1) de capteurs (2) d'observation s'étendant principalement dans un plan, par rapport à la tangente à la trajectoire (V) de l'engin spatial.

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé par le fait qu'il  
10 comporte une opération consistant à prendre une première vue de l'objet à observer en un premier lieu de la trajectoire (V), puis une deuxième vue de cet objet, en aval de ce premier lieu, pour former une image stéréoscopique de cet objet.

14. Procédé selon l'une des revendications 10 à 13, caractérisé  
15 par le fait qu'il comporte une opération consistant à déplacer, entre deux prises de vues de l'objet à observer, le dispositif de prise de vue, latéralement par rapport la trajectoire (V) de l'engin, pour former une image stéréoscopique de cet objet.

15. Procédé selon l'une des revendications 10 à 14, caractérisé  
20 par le fait qu'il comporte une opération consistant à réaliser une rotation du dispositif de prise de vue, autour d'un axe perpendiculaire à la trajectoire (V), pour former une image stéréoscopique de l'objet à observer.

16. Procédé selon l'une des revendications 10 à 15, caractérisé  
25 par le fait qu'il comporte une opération consistant à réaliser plusieurs prises de vue, correspondant à des positions du dispositif de prise de vue, juxtaposées les unes à côté des autres, en déplaçant le dispositif de prise de vue entre deux prises de vue, latéralement par rapport à la trajectoire de l'engin, pour former, après traitement de l'ensemble des  
30 prises de vue, une image correspondant à un champ plus large de

l'objet à observer, que celle qui serait obtenue avec seulement une de ces prises de vues.

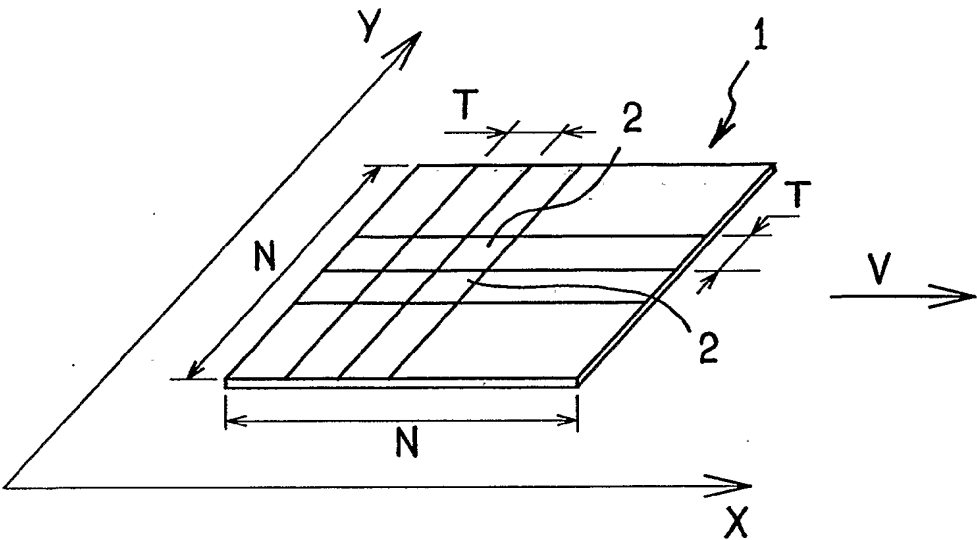


FIG. 1

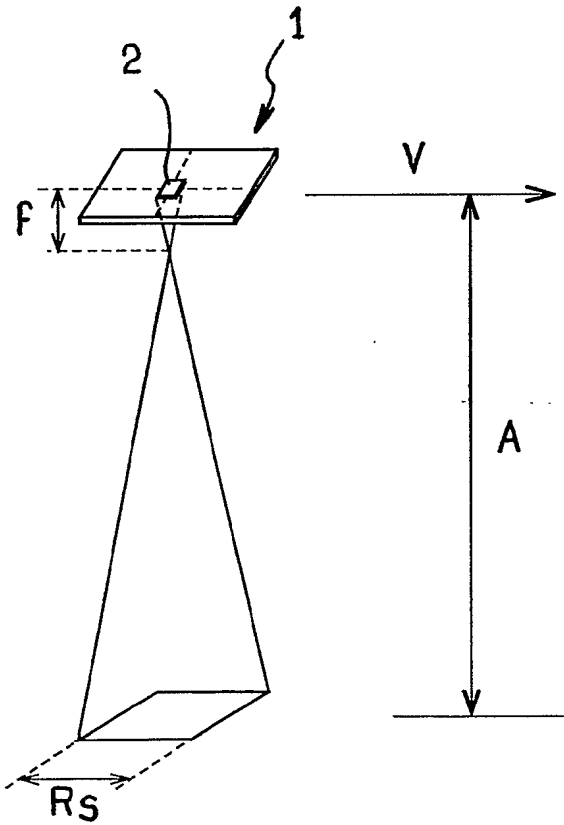
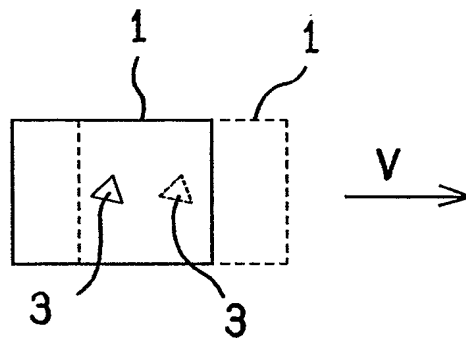
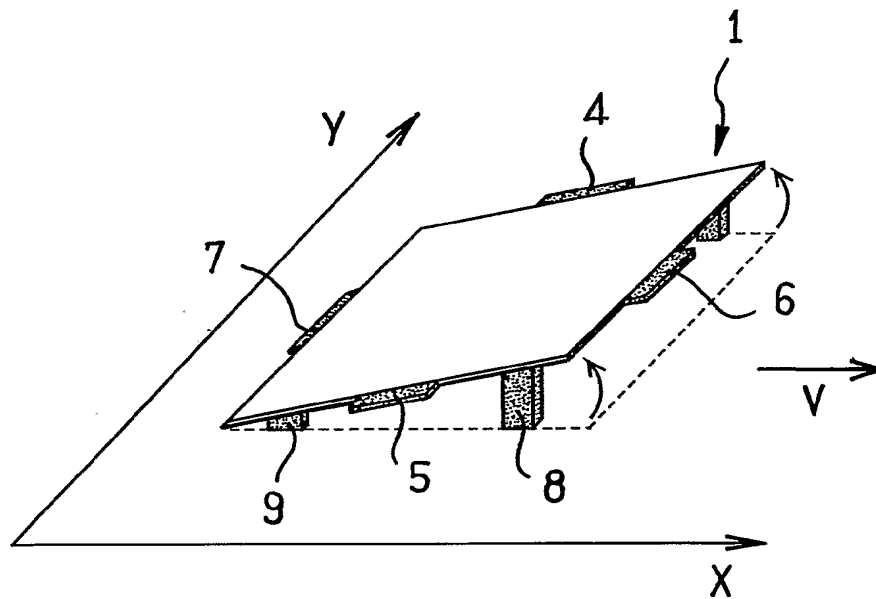
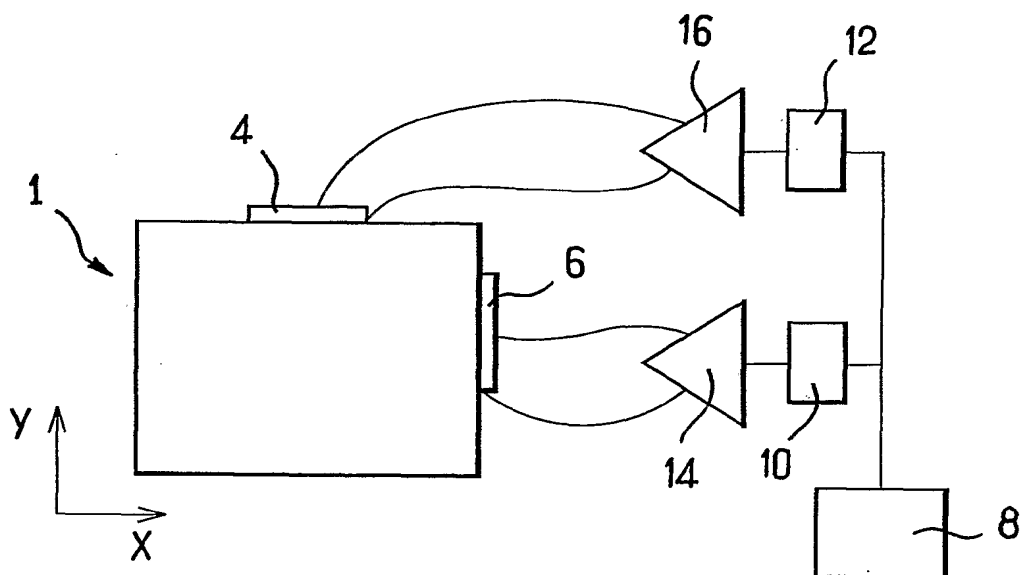
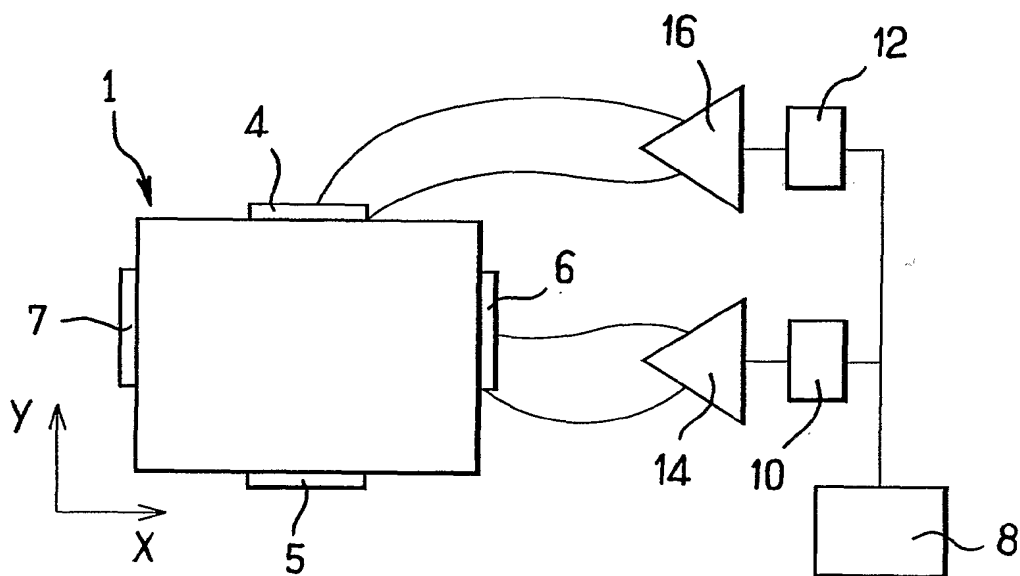


FIG. 2

2 / 5

FIG. 3FIG. 6

3 / 5

FIG. 4FIG. 5

4 / 5

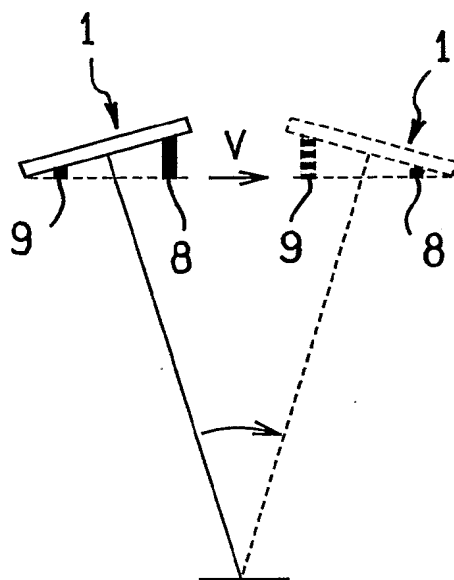


FIG. 7

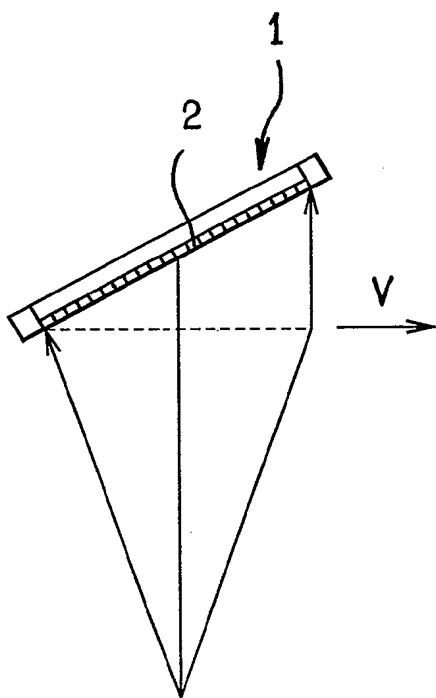


FIG. 8

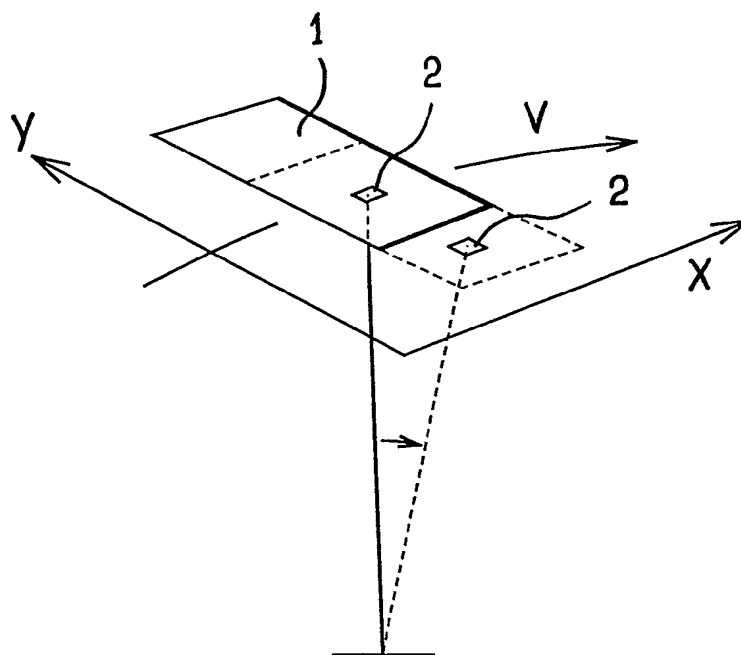
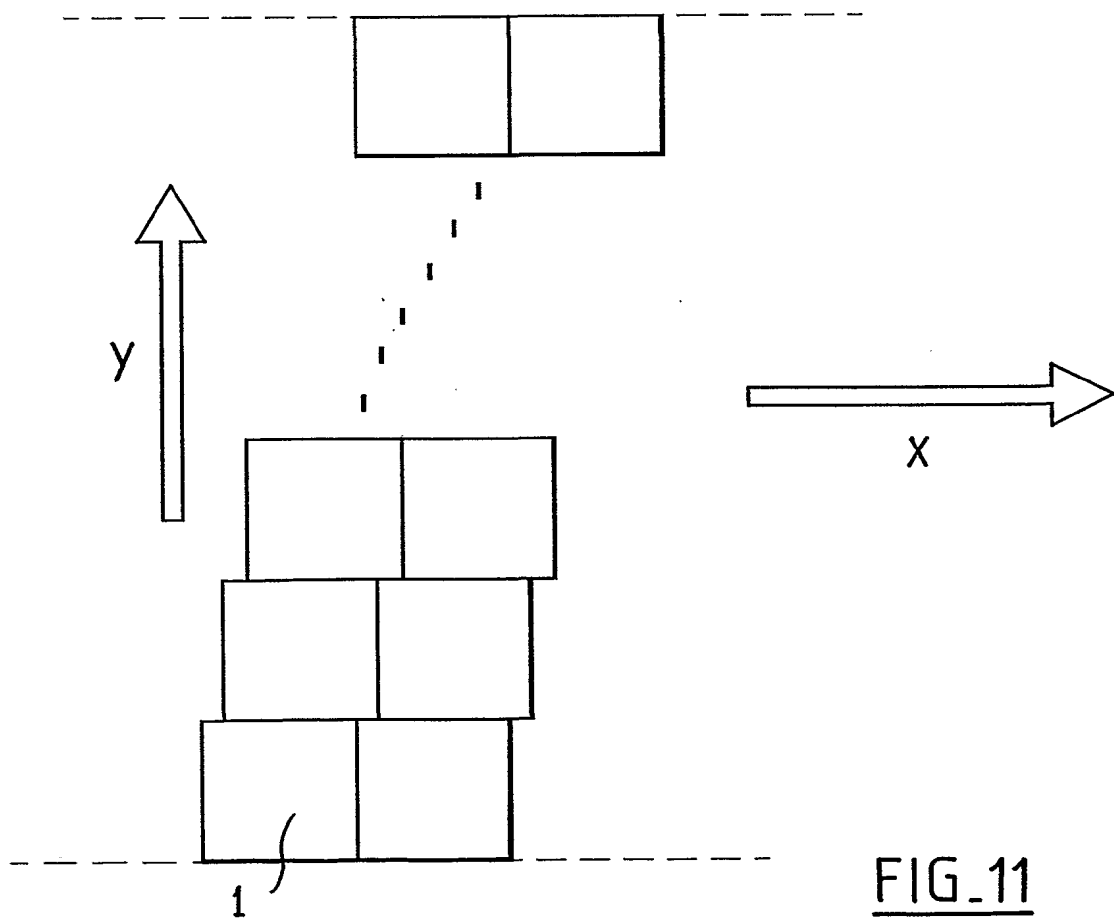
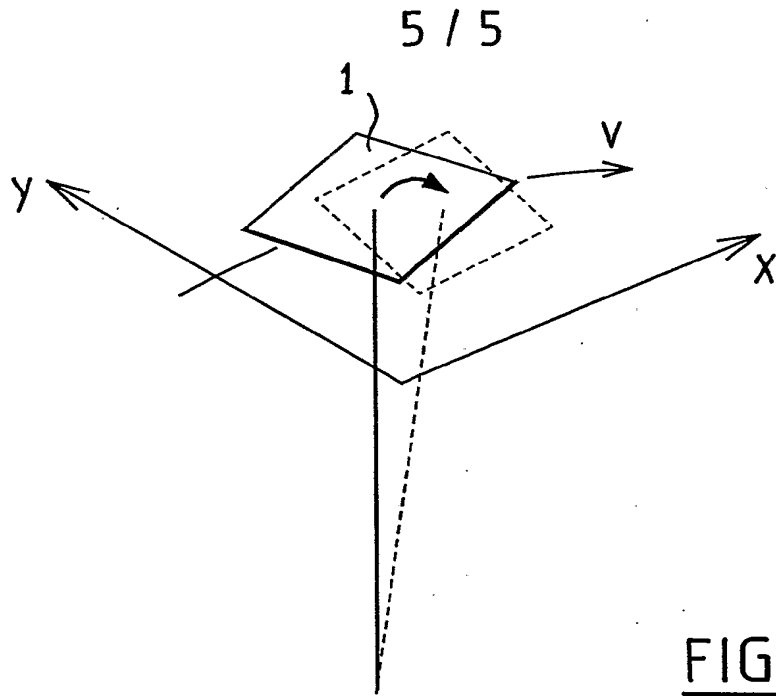


FIG. 9





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 01/01741

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H04N5/225 H04N5/232 H04N3/15

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 697 786 A (MATRA MHS) 21 February 1996 (1996-02-21) column 2, line 21 - line 29 column 3, line 37 - line 46; figure 3	8
Y	---	1-3,9,10
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 225 (E-0927), 14 May 1990 (1990-05-14) & JP 02 058481 A (NEC CORP), 27 February 1990 (1990-02-27) abstract	1-3,9,10
A	---	4-7,11
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

4 September 2001

Date of mailing of the international search report

10/09/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bequet, T

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 01/01741

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 463 (P-1428), 25 September 1992 (1992-09-25) & JP 04 166920 A (TOSHIBA CORP), 12 June 1992 (1992-06-12) abstract ---	12
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 04, 31 August 2000 (2000-08-31) & JP 2000 013665 A (FUJI PHOTO FILM CO LTD), 14 January 2000 (2000-01-14) abstract -----	12

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 01/01741

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0697786 A	21-02-1996	FR 2723810 A DE 69512487 D DE 69512487 T JP 8178688 A US 5585633 A	23-02-1996 04-11-1999 15-06-2000 12-07-1996 17-12-1996
JP 02058481 A	27-02-1990	NONE	
JP 04166920 A	12-06-1992	NONE	
JP 2000013665 A	14-01-2000	NONE	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR 01/01741

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 H04N5/225 H04N5/232 H04N3/15

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H04N

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 697 786 A (MATRA MHS) 21 février 1996 (1996-02-21) colonne 2, ligne 21 - ligne 29 colonne 3, ligne 37 - ligne 46; figure 3	8
Y	---	1-3,9,10
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 225 (E-0927), 14 mai 1990 (1990-05-14) & JP 02 058481 A (NEC CORP), 27 février 1990 (1990-02-27) abrégé	1-3,9,10
A	---	4-7,11
	-/--	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

4 septembre 2001

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

10/09/2001

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Bequet, T

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR 01/01741

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 463 (P-1428), 25 septembre 1992 (1992-09-25) & JP 04 166920 A (TOSHIBA CORP), 12 juin 1992 (1992-06-12) abrégé	12
A	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 04, 31 août 2000 (2000-08-31) & JP 2000 013665 A (FUJI PHOTO FILM CO LTD), 14 janvier 2000 (2000-01-14) abrégé -----	12

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR 01/01741

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0697786 A	21-02-1996	FR 2723810 A DE 69512487 D DE 69512487 T JP 8178688 A US 5585633 A	23-02-1996 04-11-1999 15-06-2000 12-07-1996 17-12-1996
JP 02058481 A	27-02-1990	AUCUN	
JP 04166920 A	12-06-1992	AUCUN	
JP 2000013665 A	14-01-2000	AUCUN	